



Experimenty s interaktivní stavebnicí a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

6F. Hybnost

M. Jílek & T. Feltl



EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND
PRAHA & EU: INVESTUJEME DO VAŠÍ
BUDOUCNOSTI

Tyto materiály vznikly v rámci projektu OPPA č. CZ.2.17/3.1.00/36080,
Experimenty s interaktivní stavebnicí a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu.

- **A. Předávání hybnosti stejně těžkému tělesu** **6F-A-01**
 - Úvod 6F-A-02
 - Co budeme potřebovat? 6F-A-03
 - Příprava a sestavení experimentu 6F-A-04
 - Provedení experimentu – záznam dat 6F-A-05
 - Analýza naměřených hodnot – teorie 6F-A-06
 - Analýza naměřených hodnot – úkoly 6F-A-07
- **B. Zachování hybnosti při pružné srážce** **6F-B-01**
 - Úvod 6F-B-02
 - Co budeme potřebovat? 6F-B-03
 - Příprava a sestavení experimentu 6F-B-04
 - Postup práce – záznam dat 6F-B-05
 - Analýza naměřených hodnot – teorie 6F-B-06
 - Analýza naměřených hodnot – úkoly 6F-B-07
- **C. Zachování hybnosti při nepružné srážce** **6F-C-01**
 - Úvod a teorie 6F-C-02
 - Co budeme potřebovat? 6F-C-03
 - Příprava a sestavení experimentu 6F-C-04
 - Postup práce – záznam dat 6F-C-05
 - Analýza naměřených hodnot – úkoly 6F-C-06
- **Závěr** **6F-Z-01**
- **Použité materiály a zdroje informací** **6F-I-01**
- **Metodické komentáře** **6F-M-01**

A. Předávání hybnosti stejně těžkému tělesu

Úvod

Každý řidič má zkušenost s tím, že **plně naložené auto**, nebo auto s naloženým přívěsným vozíkem, se **brzdí podstatně hůř** než auto prázdné. Je potřeba brzdit **větší silou** nebo **delší dobu**.

Stejně významná je **rychlost**, jakou se automobil pohybuje. Čím **větší rychlostí** se pohybujeme, tím **delší je doba** potřebná pro zastavení při stejné brzdě síle.

Nejjednodušší a také nejobecnější fyzikální veličinou, která popisuje pohybující se těleso z dynamického hlediska, je proto takzvaná **hybnost**, jejíž velikost se určí jako součin hmotnosti m a rychlosti v pohybujícího se tělesa.

$$p = mv$$

V prvním experimentu se pokusíme prozkoumat, co se děje s **hybností tělesa při jeho srážce** se stejně těžkým tělesem.

Kolik metrů ujedeme než zastavíme?

Rychlost vozu	Reakční dráha	Brzdná dráha	Dráha zastavení
suchá silnice			
50 km/h	14 m	14 m	28 m
90 km/h	25 m	45 m	70 m
130 km/h	36 m	93 m	129 m
mokrý silnice			
50 km/h	14 m	19 m	33 m
90 km/h	25 m	63 m	88 m
130 km/h	36 m	130 m	166 m
náledí			
50 km/h	14 m	64 m	78 m
90 km/h	25 m	208 m	233 m
130 km/h	36 m	435 m	471 m

Tabulka (průměrné hodnoty): www.policie.cz

V prvním experimentu se pokusíme prozkoumat, co se děje s **hybností tělesa při jeho srážce** se stejně těžkým tělesem.

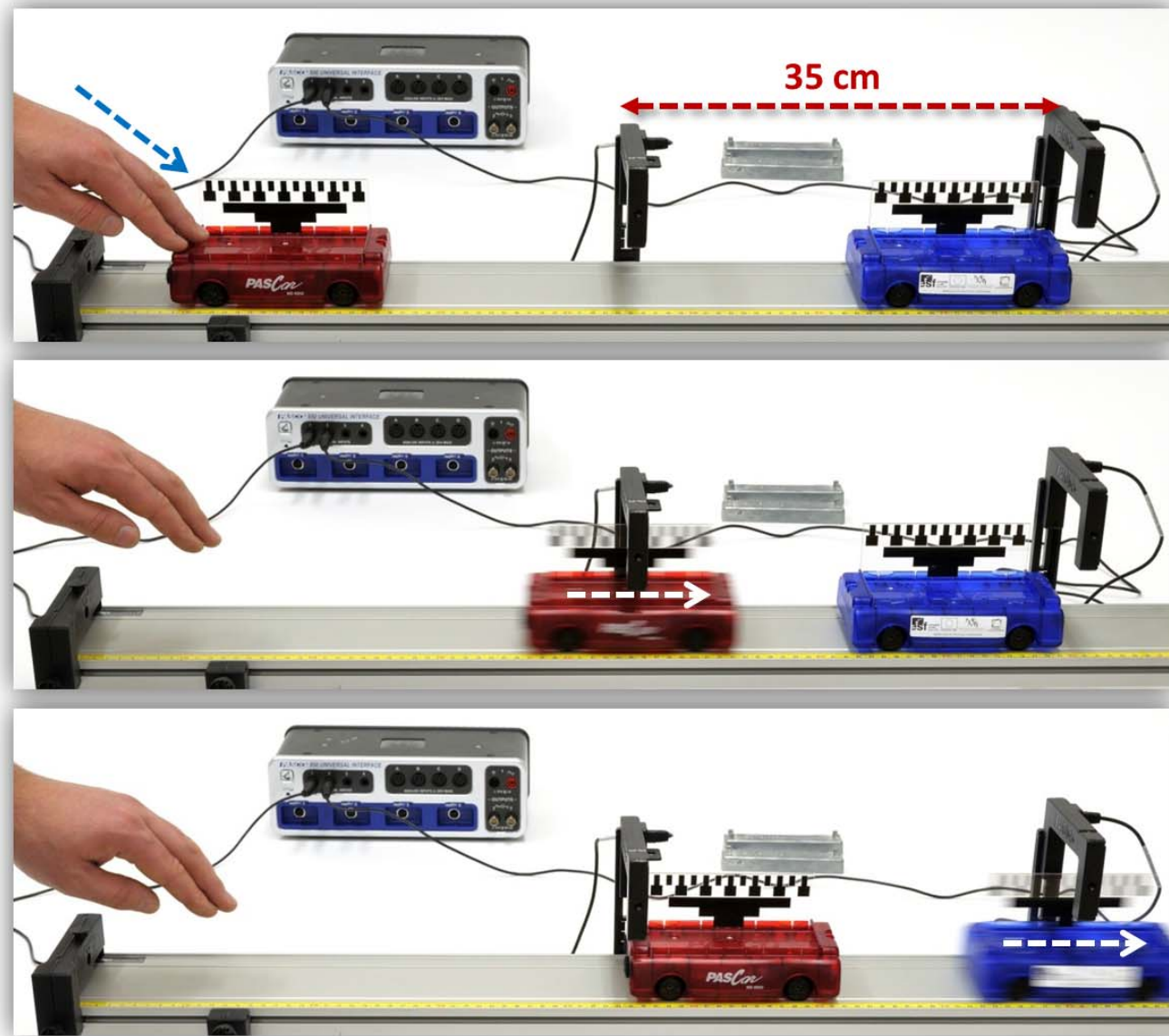
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- dvě fotobrány s příslušenstvím pro uchycení na vozíkovou dráhu
- vozíkovou dráhu
- dva vozíky se závažími a maskami k fotobránám



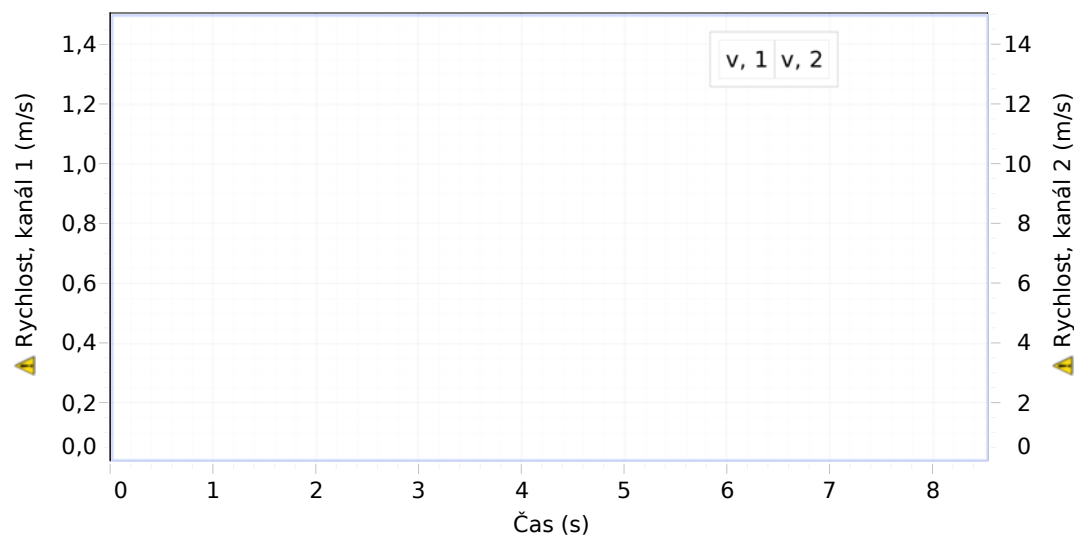
Příprava a sestavení experimentu

1. Fotobrány připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a pomocí svorek je upneme na vodorovně vyrovnanou vozíkovou dráhu ve vzdálenosti **35 cm** od sebe.
2. Na oba vozíky nasadíme masky směrem s nejhustšími proužky nahoru. Výšku fotobran nastavíme tak, aby horní pásek masky (s šířkou proužků 0,5 cm) protínal při pohybu vozíku po dráze paprsky fotobran.
3. Vozíky postavíme na dráhu čely s **magnety proti sobě**, první vozík necháme před oběma fotobránami, druhý vozík umístíme mezi fotobrány (těsně před druhou fotobránu ve směru pohybu).



Provedení experimentu – záznam dat

1. Spustíme měření a rukou rozpohybujeme první vozík tak, aby narazil nepříliš velkou rychlostí do druhého vozíku. Po průjezdu vozíků branami ukončíme měření.
2. V tabulce se během měření zobrazují rychlosti zaznamenané jednou a druhou fotobránou (první fotobrána zaznamená pouze rychlost prvního vozíku, druhá fotobrána rychlost druhého, odraženého vozíku).
3. Celé měření zopakujeme s tím, že vozíky obrátíme k sobě opačnými čely – se suchými zipy.



Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		

Analýza naměřených hodnot – teorie

První pokus, kdy na sebe vozíky během srážky působí pouze prostřednictvím odpuzivé síly magnetů, je příkladem takzvané **pružné srážky**. Vidíme, že první vozík se během srážky zastavil a druhý se rozjel (v rámci podmínek experimentu) v podstatě stejnou rychlostí. Protože mají vozíky stejnou hmotnost, znamená to, že první vozík předal druhému všechnu svoji hybnost. Navíc mu předal i všechnu svoji kinetickou energii E_k , jejíž velikost je dána vztahem

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Ideálně pružná srážka nastává tehdy, jestliže celková kinetická energie všech těles před srážkou je stejná jako jejich celková kinetická energie po srážce.

V druhém případě se vozíky během srážky slepily prostřednictvím suchých zipů a dál se pohybovaly společně nižší rychlostí.

Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		

Analýza naměřených hodnot - úkoly

- U druhého pokusu (při srážce suchými zipy) určete hybnost prvního vozíku před srážkou a hybnost společně se pohybujících vozíků po srážce. Co z výsledku vyplývá? Ověřte závěr pro vozíky zatížené jedním stejným závažím.
- Určete také kinetickou energii prvního vozíku před srážkou a porovnejte ji s kinetickou energií obou vozíků po srážce. Pokuste se vysvětlit, proč tyto energie nejsou stejné, kam se část kinetické energie „ztratila“.

Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		

B. Zachování hybnosti při pružné srážce

Úvod

Téměř **ideálně pružné srážky** můžeme pozorovat například při hře na **kulečnicku** u tvrdých dřevěných koulí. Za ideálně pružné považujeme také **srážky molekul plynu**, což značně usnadňuje odvození potřebných vztahů pro chování plynů (při odvozeních lze využít zákon zachování kinetické energie).

U podobných srážek se velmi dobře ukazuje jedna zásadní **vlastnost hybnosti**, a sice to, že se obecně jedná o **vektorovou veličinu**. Kromě své velikosti je proto hybnost určena i směrem – ten je stejný jako směr rychlosti příslušného tělesa.

V jednodušších případech, kdy se obě tělesa před i po srážce pohybují po jedné přímce (například dva vagóny na koleji) obvykle zvolíme jeden směr za kladný. Tělesa pohybující se tímto směrem potom budou mít kladnou hybnost, tělesa pohybující se opačným směrem zápornou.

V následujícím experimentu si vyzkoušíme určovat **celkovou hybnost** různě těžkých těles **pohybujících se po jedné přímce** před a po jejich pružné srážce.



Foto: **Wikipedia** (wikipedia.org)

V následujícím experimentu si vyzkoušíme určovat **celkovou hybnost** různě těžkých těles **pohybujících se po jedné přímce** před a po jejich pružné srážce.

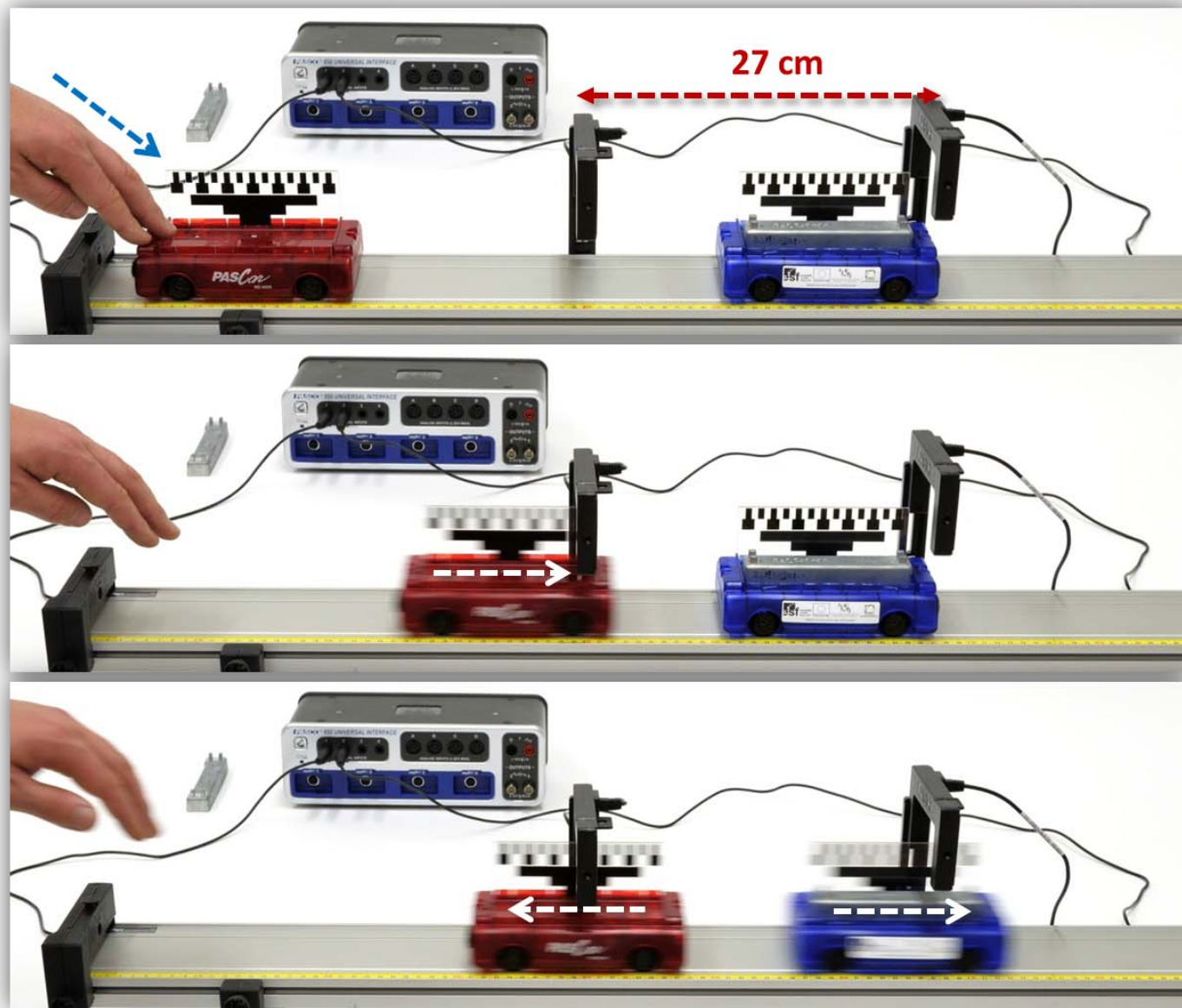
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- dvě fotobrány s příslušenstvím pro uchycení na vozíkovou dráhu
- vozíkovou dráhu
- dva vozíky se závažími a maskami k fotobránám



Příprava a sestavení experimentu

1. Fotobrány připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a pomocí svorek je upneme na vodorovně vyrovnanou vozíkovou dráhu ve vzdálenosti **27 cm** od sebe.
2. Na oba vozíky nasadíme masky směrem s nejhustšími proužky nahoru. Výšku fotobran nastavíme tak, aby horní pásek masky (s šířkou proužků 0,5 cm) protínal při pohybu vozíku po dráze paprsky fotobran.
3. Vozíky postavíme na dráhu čely s **magnety proti sobě**, první vozík necháme před oběma fotobránami, druhý vozík umístíme mezi fotobrány těsně před druhou fotobránu ve směru pohybu.



Postup práce – záznam dat

1. První vozík necháme bez závaží, na druhý vozík umístíme jedno 250 g těžké závaží.
2. Spustíme měření a rukou rozpohybujeme první vozík tak, aby narazil přiměřenou rychlostí do druhého vozíku (vyzkoušíme vhodnou rychlost, aby vozíky při srážce nevykolejily). Po průjezdu vozíků fotobranami ukončíme měření.
3. V tabulce se během měření zobrazují rychlosti zaznamenané jednou a druhou fotobránou.
4. Měření opakujeme s tím, že na druhý vozík umístíme dvě závaží místo jednoho. Při dalším měření necháme druhý vozík bez závaží a na první umístíme jedno závaží a nakonec provedeme experiment se dvěma závažími na prvním vozíku.

Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		

Analýza naměřených hodnot – teorie

1. Vidíme, že v prvním případě, kdy lehčí vozík naráží pružně do těžšího stojícího vozíku, dojde k odražení prvního vozíku zpět. Pokud tedy hybnost vozíku před srážkou uvažujeme jako kladnou, pro výpočet hybnosti po srážce budeme muset velikost hybnosti tohoto vozíku započítat se záporným znaménkem. Naproti tomu druhý vozík bude mít hybnost kladnou – pohybuje se stejným směrem jako první vozík před srážkou.
2. V případě, kdy naráží těžší vozík na stojící lehčí vozík je situace jednodušší. První vozík po srážce pouze zmenší svoji rychlost, ale pohybuje se dál stejným směrem. Všechny hybnosti vozíků před i po srážce proto můžeme uvažovat jako kladné.

Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		

Analýza naměřených hodnot - úkoly

1. Určete rychlosti obou vozíků před a po srážce v jednotlivých případech s různými hmotnostmi vozíků.
2. Pro každou kombinaci hmotností vozíků spočítejte hybnost prvního vozíku před srážkou (hybnost druhého, stojícího vozíku je před srážkou nulová) a запиšte ji do odpovídajícího řádku připravené tabulky.
3. Spočítejte celkovou hybnost obou vozíků po srážce a také ji запиšte do tabulky. Dbejte přitom na správné znaménko hybnosti vozíku.
4. Ověřte, zda jsou celkové hybnosti vozíků před srážkou stejné jako po srážce a objasněte, co může způsobovat případné rozdíly.

Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		

Hybnosti vozíků

	⚡ pružná srážka hmotnost prvního voz. (g)	▼ pružná srážka hmotnost druhého voz. (g)	⚡ pružná srážka celková hybnost před srážkou (kg·m·s ⁻¹)	▲ pružná srážka celková hybnost po srážce (kg·m·s ⁻¹)
1	250	500		
2	250	750		
3	500	250		
4	750	250		
5				

C. Zachování hybnosti při nepružné srážce

Úvod

Většina **reálných srážek**, se kterými se v praxi setkáváme, je **nepružná**. Typickým příkladem je **srážka dvou vozidel** při dopravní nehodě, kdy se velké množství **kinetické energie** pohybujících se vozidel při srážce **přemění na deformační energii** bortících se karosérií, **teplo** vzniklé třením a další formy energie. Protože tyto energie nejsme schopni nikdy přesně vyčíslit, **nemůžeme použít zákon zachování energie** k tomu, abychom zjistili například počáteční rychlosti vozidel.

Podle **zákona zachování hybnosti** však vždy platí, že celková hybnost jakékoli soustavy těles se vzájemným silovým působením nemění. Pokud tedy vyšetřovatelé dopravní nehody dokáží určit rychlosti vozidel po srážce (z posunu vozidel od místa střetu), lze pomocí hmotností vozidel poměrně jednoduše dopočítat, jak rychle se pohybovala před srážkou.

Následujícím experimentem se pokusíme v několika jednoduchých případech ověřit, zda **zákon zachování hybnosti** platí i při **nepružné srážce**.



Foto: **Honda** (www.honda.com)

Následujícím experimentem se pokusíme v několika jednoduchých případech ověřit, zda **zákon zachování hybnosti** platí i při **nepružné srážce**.

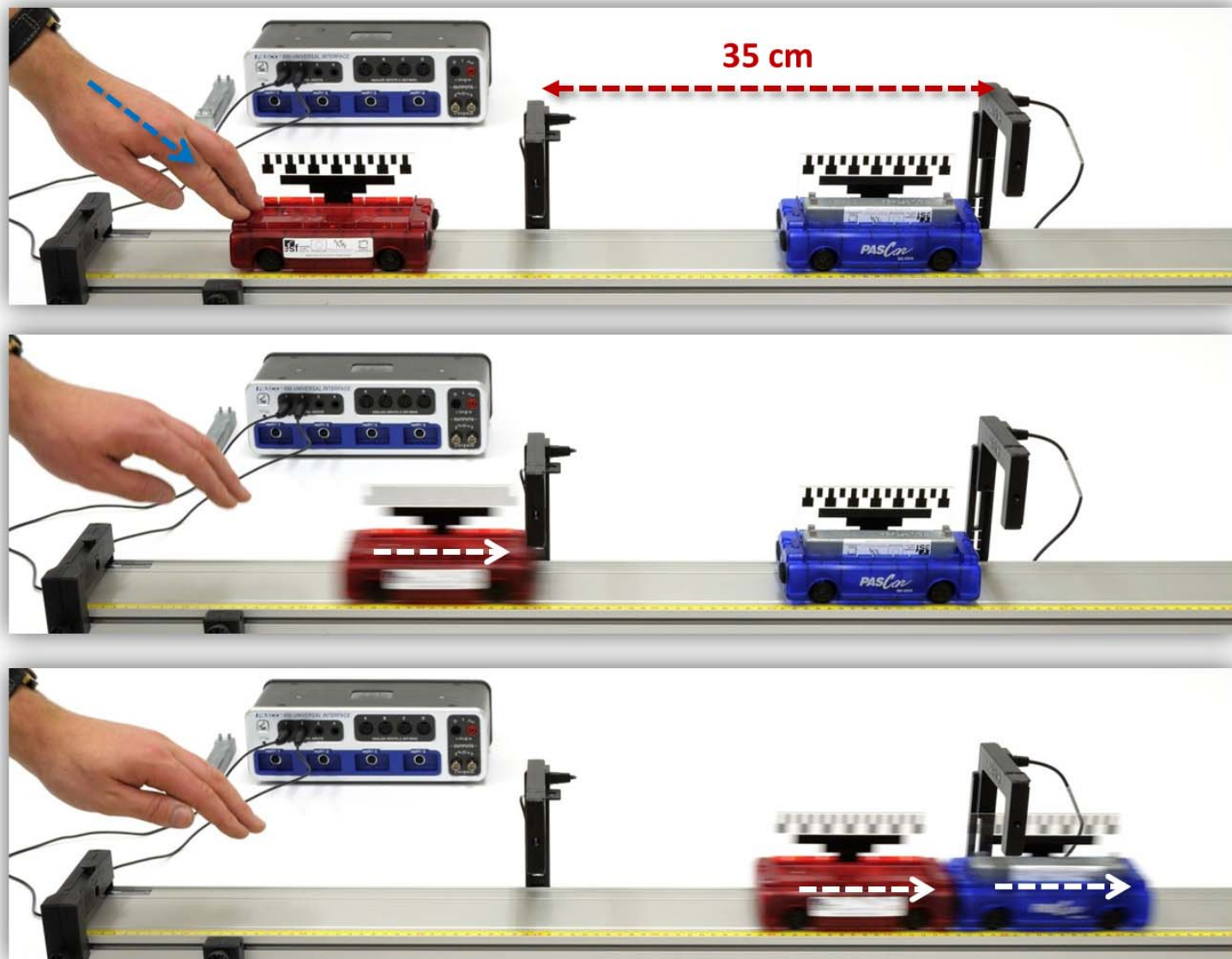
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- dvě fotobrány s příslušenstvím pro uchycení na vozíkovou dráhu
- vozíkovou dráhu
- dva vozíky se závažími a maskami k fotobránám



Příprava a sestavení experimentu

1. Fotobrány připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem a pomocí svorek je upneme na vodorovně vyrovnanou vozíkovou dráhu ve vzdálenosti **35 cm** od sebe.
2. Na oba vozíky nasadíme masky směrem s nejhustšími proužky nahoru. Výšku fotobran nastavíme tak, aby horní pásek masky (s šířkou proužků 0,5 cm) protínal při pohybu vozíku po dráze paprsky fotobran.
3. Vozíky postavíme na dráhu čely se **suchými zipy proti sobě**, první vozík necháme před oběma fotobránami, druhý vozík umístíme mezi fotobrány těsně před druhou fotobránu ve směru pohybu.



Postup práce – záznam dat

1. První vozík necháme bez závaží, na druhý vozík umístíme jedno 250 g těžké závaží.
2. Spustíme měření a rukou rozpohybujeme první vozík tak, aby narazil přiměřenou rychlostí do druhého vozíku (vyzkoušíme vhodnou rychlost, aby vozíky při srážce nevykolejily). Po průjezdu vozíků branami ukončíme měření.
3. V tabulce se během měření zobrazují rychlosti zaznamenané jednou a druhou fotobránou (první fotobrána zobrazuje rychlost prvního vozíku před srážkou, druhá fotobrána společnou rychlost vozíků po srážce).
4. Měření opakujeme s tím, že vyzkoušíme různé hmotnosti obou vozíků.

Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		

Analýza naměřených hodnot - úkol

1. Určete rychlost prvního vozíku před srážkou a společnou rychlost vozíků po srážce.
2. Z rychlostí a hmotností vozíků spočítejte celkovou hybnost vozíků před srážkou a jejich celkovou hybnost po srážce a запиšte je do odpovídajícího řádku připravené tabulky.
3. Stejně určete hybnosti před srážkou a po srážce i pro ostatní kombinace hmotností vozíků a doplňte je do tabulky.
4. Ověřte, zda jsou celkové hybnosti vozíků před srážkou stejné jako po srážce, a objasněte, co může způsobovat případné rozdíly.

Rychlosti vozíků

	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 1 (m/s)	<Nejsou vybrána žádná data> ⚠ Rychlost, kanál 2 (m/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		

Hybnosti vozíků

	■ nepružná srážka hmotnost prvního voz. (g)	● nepružná srážka hmotnost druhého voz. (g)	◆ nepružná srážka celková hybnost před srážkou (kg·m·s ⁻¹)	✠ nepružná srážka celková hybnost po srážce (kg·m·s ⁻¹)
1				
2				
3				
4				
5				

Závěr

Pokuste se shrnout, co vyjadřuje **hybnost tělesa** a v čem spočívá **zákon zachování hybnosti**. Objasněte, jaký je rozdíl mezi **pružnou** a **nepružnou srážkou** a uveďte několik příkladů z praxe, které se blíží ideálně pružné srážce a několik příkladů typicky nepružné srážky.

Použité materiály a další informační zdroje

SVOBODA, Emanuel a kol. *Přehled středoškolské fyziky*.

Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-22435-0.

Použité fotografie z externích zdrojů:

Policie ČR (www.policie.cz)

Wikipedia (wikipedia.org)

Honda (www.honda.com)

Metodické poznámky

- Při pokusech je potřeba vyzkoušet vhodné rychlosti narážejícího vozíku tak, aby byl pohyb po srážce dostatečně rychlý, ale aby vozíky nevykolejily.
- Pro dostatečně průkazné výsledky experimentů je potřeba správně vyhodnotit rychlosti v tabulce – vybrat pokud možno rychlosti těsně před srážkou a těsně po srážce (rychlost vozíků díky tření postupně klesá).
- U druhého experimentu (měření pružné srážky) jsou fotobrány umístěny záměrně blíže k sobě tak, aby se v okamžiku srážky první fotobrána nacházela přibližně uprostřed prvního vozíku. První fotobrána tak zaznamená nejdříve počáteční rychlost prvního vozíku a následně buď jeho rychlost v opačném směru, nebo jeho zmenšenou rychlost v původním směru. Tyto změny hodnot rychlosti by měly být patrné ve sloupci naměřených hodnot z první fotobrány.
- Měření pružné i nepružné srážky s vozíky různých hmotností je možné doplnit výpočty celkové kinetické energie vozíků před srážkou a po srážce a diskutovat o platnosti zákona zachování energie.